



**TUGAS AKHIR - TE 145561**

## **RANCANG BANGUN KENDALI KECEPATAN MOTOR BLDC SENSORLESS**

Mohammad Desna Rizal Cahyanto  
NRP 10311500010023

Dosen Pembimbing  
Ir. Hany Boedinugroho, M.T.

Departemen Teknik Elektro Otomasi  
Fakultas Vokasi  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2018





***FINAL PROJECT - TE 145561***

***PROTOTYPE SENSORLESS BLDC MOTOR SPEED  
CONTROL***

Mohammad Desna Rizal Cahyanto  
NRP 10311500010023

*Advisor*  
Ir. Hany Boedinugroho, M.T.

*Automation Electrical Engineering Department  
Vocational Faculty  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2018*



## **PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR**

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul **"RANCANG BANGUN KENDALI KECEPATAN MOTOR BLDC SENSORLESS"** adalah benar- benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Juli 2018

Mohammad Desna Rizal Cahyanto

NRP 10311500010042

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

**RANCANG BANGUN KENDALI KECEPATAN MOTOR  
BLDC SENSORLESS**

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan Untuk  
Memperoleh Gelar Ahli Madya Teknik  
Pada**

**Departemen Teknik Elektro Otomasi  
Fakultas Vokasi**

**Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**Menyetujui:**

**Dosen Pembimbing**



**Ir. Hany Boedinugroho, M. T**  
**NIP. 196107061987011001**

**SURABAYA  
JULI, 2018**

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----



# **RANCANG BANGUN KENDALI KECEPATAN MOTOR BLDC SENSORLESS**

**Nama Mahasiswa** : Mohammad Desna Rizal Cahyanto  
**NRP** : 10311500010023  
**Pembimbing I** : Ir. Hany Boedinugroho, M.T.  
**NIP** : 19610706 198701 1 001

## **ABSTRAK**

Kebutuhan akan kendaraan hemat energi dan ramah lingkungan sangat dibutuhkan dikarenakan cepat atau lambat Bahan Bakar Minyak (BBM) pasti akan habis. Namun kendaraan yang memanfaatkan energi listrik sekarang masih sangat terbatas. Dengan adanya Motor BLDC ini merupakan awal dibentuknya inovasi kendaraan berbahan bakar listrik yang minim polusi sehingga menjadi kendaraan yang ramah lingkungan

Perkembangan teknologi motor BLDC membuat aplikasi motor jenis ini semakin variatif, motor BLDC juga terdapat 2 jenis yaitu BLDC *Sensorless* dan BLDC *Sensored*. Pada Motor BLDC *Sensored* dilengkapi dengan sensor posisi yang biasa disebut dengan *hall effect sensor*. Sedangkan motor BLDC *Sensorless* tidak terdapat fitur tambahan sensor posisi.

Tugas akhir ini direncanakan untuk mengatur kecepatan motor BLDC *sensorless*. Rancangan *driver* motor BLDC menggunakan mosfet yang digunakan *switching* motor BLDC serta menggunakan *chip microcontroller ATmega* sebagai pengaturnya. Proses kendali Motor BLDC diatur dengan *variable resistor*.

Hasil yang diperoleh alat ini yaitu mampu mengetahui gelombang *six step comutation* pada *driver* motor BLDC *Sensorless* dengan metode *open loop*

**Kata Kunci** : Motor Brushless DC, Electric Speed Control, Smartphone Android, Mikrokontroler.

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

# ***PROTOTYPE SENSORLESS BLDC MOTOR SPEED CONTROL***

***Student's Name*** : Mohammad Desna Rizal Cahyanto  
***Registration Number*** : 10311400010023  
***Supervisor I*** : Ir. Hany Boedinugroho, M.T.  
***ID Number*** : 19610706 198701 1 001

## **ABSTRACT**

*The need for energy-efficient vehicles and environmentally friendly is needed because sooner or later Fuel Oil (BBM) will definitely run out. But vehicles that use electric energy is now still very limited. With this BLDC motor is the beginning of the formation of innovations of electric vehicles that are minimal pollution so as to be environmentally friendly vehicles.*

*The development of BLDC motor technology makes this type of motor applications more varied, BLDC motors are also there are 2 types of Sensorless BLDC and Sensored BLDC. The Sensored BLDC Motor is equipped with a position sensor commonly called the hall effect sensor. As for the Sensorless BLDC motor there is no additional position sensor feature.*

*This final project is planned to set the speed of the sensorless BLDC motor. The design of BLDC motor driver using mosfet used BLDC motor switching and using ATmega microcontroller chip as its regulator. BLDC Motor control process is set with variable resistor.*

*The results obtained by this tool is able to find the six step wave comuation on the motor driver BLDC Sensorless with open loop method*

***Keywords: Brushless DC Motor, Electric Speed Control, Android Smartphone, Microcontroller.***

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

## **KATA PENGANTAR**

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang selalu memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga Tugas Akhir ini dapat terselesaikan dengan baik. Shalawat serta salam semoga selalu dilimpahkan kepada junjungan kita Nabi Muhammad SAW. Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi sebagian persyaratan guna menyelesaikan pendidikan Diploma pada Bidang Studi Elektro Industri, Departemen Teknik Elektro Otomasi, Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya dengan judul :

" RANCANG BANGUN KENDALI KECEPATAN MOTOR BLDC SENSORLESS"

Dengan terselesaikannya Tugas Akhir ini, Penulis menyampaikan terima kasih khususnya kepada Kedua orang tua yang senantiasa mendoakan dan memberikan dukungan dengan tulus tiada henti, Bapak Ir. Hany Boedinugroho, M.T. atas segala bimbingan ilmu, moral, dan spiritual dari awal hingga terselesainya tugas akhir ini. Kakak tingkat Elektro Industri (Angkatan 2012) yang telah memberi kami banyak masukan. Teman - teman Angkatan 2015 selaku teman seperjuangan yang selalu memberikan doa, semangat, dan dukungannya. Teman - teman Kontrakan Ceria yang selalu memberikan doa, semangat, dan dukungannya. Semua pihak yang telah membantu baik secara langsung maupun tidak langsung dalam proses penyelesaian Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari dan memohon maaf atas segala kekurangan pada Tugas Akhir ini. Akhir kata, semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat dalam pengembangan keilmuan di kemudian hari.

Surabaya, Juni 2018

Penulis

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
HALAMAN JUDUL .....	iii
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR .....	v
HALAMAN PENGESAHAN.....	vii
ABSTRAK.....	ix
ABSTRACT.....	xi
KATA PENGANTAR .....	xiii
DAFTAR ISI.....	xv
DAFTAR GAMBAR .....	xvii
DAFTAR TABEL.....	xix
 BAB 1 PENDAHULUAN .....	 xx1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Permasalahan .....	2
1.3 Batasan Masalah .....	2
1.4 Tujuan .....	2
1.5 Metodologi Penelitian .....	2
1.6 Sistematika Laporan.....	3
1.7 Relevansi.....	3
 BAB II TEORI PENUNJANG .....	 5
2.1 Mikrokontroler ATmega16 .....	5
2.2 Motor Brushless DC.....	7
2.3 Variable Resistor.....	8
2.4 WinAVR .....	9
2.5 Baterai <i>LiPo</i> .....	10
2.6 Optocoupler TLP250.....	12
2.7 Mosfet IRLS 3036.....	12
2.8 <i>Regulator</i> LM7805.....	13
 BAB III PERENCANAAN DAN PEMBUATAN ALAT .....	 15

3.1 Diagram Fungsional Sistem .....	15
3.2 Perancangan <i>Hardware</i> .....	17
3.2.1 Perancangan Mikrokontroler ATmega16 .....	17
3.2.2 Rangkaian Driver Motor BLDC Sensorless .....	18
3.2.3 Rangkaian Variable Resistor .....	19
3.3 Rangkaian Regulator LM7805 .....	19
3.4 Perancangan <i>Software</i> .....	19
3.4.1 Perancangan Program pada <i>Software</i> WinAVR .....	20
3.4.2 Perancangan Program Kontrol Kecepatan Motor .....	22
 BAB IV UJI UKUR DAN UJI COBA .....	 27
4.1 Pengukuran <i>Regulator</i> LM7805 .....	27
4.2 Pengukuran <i>Output</i> Catu Daya LiPo .....	28
4.3 Pengukuran Tegangan <i>Potensiometer</i> .....	29
4.4 Pengukuran Tegangan <i>OutputPWM</i> Mikrokontroler .....	30
4.5 Pengukuran Tegangan <i>Optocoupler</i> TLP250 .....	32
4.6 Pengukuran Arus Dengan Beban Led 3mm .....	34
4.7 Pengukuran Arus Dengan Beban Motor DC 12V .....	36
4.8 Pengujian Driver Motor Brushless pada 6 Buah Led .....	38
 BAB V <u>P</u> ENUTUP .....	 43
5.1 Kesimpulan .....	43
5.2 Saran .....	43
 DAFTAR PUSTAKA .....	 45
 LAMPIRAN A .....	 A-1
 RIWAYAT HIDUP PENULIS .....	 B-1



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Konfigurasi Pin ATmega16 .....	6
Gambar 2.2 Bentuk Fisik ATmega16 .....	6
Gambar 2.3 Motor Brushless DC <i>Sensorless</i> .....	8
Gambar 2.4 <i>Variable Resistor</i> .....	9
Gambar 2.4 Pemograman Notepad WinAVR .....	10
Gambar 2.6 Baterai LiPo (Lithium Polimer) .....	11
Gambar 2.7 Bentuk Fisik IC TLP250 .....	12
Gambar 2.8 Bentuk Fisik IRLS 3036 .....	13
Gambar 2.1 Konfigurasi LM7805 .....	13
Gambar 3.1 Sketsa Diagram Fungsional Alat .....	15
Gambar 3.2 Rangkaian Regulator 7805 .....	19
Gambar 3.3 Flowchart Secara Keseluruhan .....	20
Gambar 3.4 Tampilan awal WinAVR .....	21
Gambar 3.5 <i>Software</i> MFile [WinAVR] .....	22
Gambar 3.6 Tampilan <i>toolbar Makefile</i> .....	22
Gambar 3.7 Tampilan Pilihan <i>MCU Type</i> .....	23
Gambar 3.8 Tampilan pilihan <i>programmer</i> .....	23
Gambar 3.9 Tampilan <i>toolbar Makefile Port usb</i> .....	24
Gambar 3.10 Tampilan <i>toolbar Save As</i> .....	24
Gambar 3.11 Tampilan berkas make file yang perlu diganti .....	25
Gambar 3.12 Tampilan <i>Avrdude_programmer</i> .....	25
Gambar 3.13 Tampilan berkas Project yang telah disimpan .....	26
Gambar 4.1 Pengukuran Tegangan LM7805 .....	27
Gambar 4.2 Pengukuran Baterai LiPo .....	28
Gambar 4.3 Pengukuran Tegangan Potensiometer .....	29
Gambar 4.4 Grafik Pengukuran Potensiometer .....	30
Gambar 4.5 Pengukuran keluaran tegangan PWM mikrokontroler .....	31
Gambar 4.6 Grafik Tegangan output PWM mikrokontroler .....	32
Gambar 4.7 Pengukuran <i>Input</i> dan <i>Output Optocoupler</i> .....	33
Gambar 4.8 Rangkaian Pengukuran Arus Beban Degan Led 3mm .....	34
Gambar 4.9 Grafik Pengukuran Arus Beban Led 3mm .....	35
Gambar 4.10 Rangkaian Pengukuran Arus Beban degan Motor DC 12V .....	36
Gambar 4.11 Grafik Pengukuran Arus Beban dengan Motor DC 12v .....	37

Gambar 4.12 Sinyal dari <i>Six Step Comutation</i> .....	39
--	----

## DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Hasil pengukuran tegangan <i>Output</i> LM7805 .....	27
Tabel 4.2 Hasil pengukuran tegangan <i>Output</i> Baterai (LiPo) .....	28
Tabel 4.3 Hasil pengukuran Tegangan <i>Potensiometer</i> .....	29
Tabel 4.4 Hasil pengukuran tegangan <i>Output PWM</i> .....	31
Tabel 4.5 Hasil pengukuran Tegangan input dan output <i>Optocoupler</i> .....	33
Tabel 4.6 Hasil pengukuran arus beban led 3mm .....	35
Tabel 4.7 Hasil pengukuran Arus Beban Motor DC 12V .....	37
Tabel 4.8 Hasil Pengujian Driver Motor Brushless pada 6 buah Led .....	38

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Motor BLDC (Brushless Direct Current) telah banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari, seperti untuk penggunaan blower, compressor, peralatan militer, pesawat tanpa awak, dan kendaraan listrik. Motor BLDC banyak digunakan karena memiliki beberapa keunggulan, yaitu tahan lama, torsi dan efisiensi yang tinggi, handal, perawatan rendah, dan performa yang bagus untuk kecepatan tinggi. Motor BLDC menggunakan sumber tegangan utama berupa tegangan DC. Untuk dapat bekerja, diperlukan adanya medan putar stator. Untuk mendapatkan medan putar stator diperlukan tegangan AC 3 fasa pada stator motor. Oleh karena itu digunakan inverter 3 fasa untuk mengubah tegangan DC menjadi tegangan AC 3 fasa. Metode yang digunakan dalam pengendalian inverter motor BLDC yaitu metode six step commutation, dimana gelombang yang dihasilkan berbentuk square 6 langkah. Dalam membangkitkan gelombang square diperlukan penentuan komutasi yang tepat. Terdapat dua metode untuk menentukan komutasi pada motor BLDC, yaitu menggunakan sensor hall effect (sensored) dan tanpa menggunakan sensor hall effect (sensorless). Penggunaan sensor untuk penentuan komutasi umumnya menggunakan sensor posisi (*hall effect sensor*). Hal ini memiliki beberapa kelemahan, diantaranya rentan terjadi kesalahan konfigurasi pemasangan ketika integrasi dengan *controller*, harga sensor yang tinggi, tingkat kesulitan pemasangan yang tinggi apabila terjadi kerusakan, dan sensitif terhadap temperatur tinggi. Sehingga perlu dibuat driver motor BLDC sensorless guna untuk mengatur kecepatan motor BLDC Sensorless. Proses kendali melalui perantara pengaturan dengan *variable resistor*, lalu nilai sinyal *analog* dari *variable resistor* akan mengirim data ke Minimum sistem dengan chip *microcontroller* yang memberi perintah pada *optocoupler* yang dihubungkan seri dengan *power mosfet*. *Power mosfet* sendiri bertugas sebagai *switching* pada motor *brushless* DC. Diharapkan dengan tugas akhir ini dapat dijadikan acuan untuk standar kendaraan ramah lingkungan.

## 1.2 Permasalahan

Dengan latar belakang di atas, maka dirumuskan permasalahannya yaitu :

- Bagaimana cara mengatur kecepatan Motor BLDC Sensorless?
- Bagaimana cara kerja Driver Motor BLDC Sensorless?

## 1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah tugas akhir ini antara lain :

- Motor BLDC yang digunakan memiliki daya  $\leq 2\text{kW}$  dengan tegangan  $\leq 22\text{V}$ .
- Tidak membahas konstruksi motor BLDC dan karakteristik *battery* atau sumber tegangan,
- Tidak membahas kondisi mekanik yang akan digunakan

## 1.4 Tujuan

Tujuan yang akan dicapai dari Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

- Membuat *Driver* dan *microcontroller* agar dapat mengatur kecepatan motor *BLDC Sensorless*.
- Untuk mengetahui cara kerja *six step* komutasi pada motor BLDC Sensorless tanpa *feedback* sensor posisi.

## 1.5 Metodologi Penelitian

Penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan metodologi, yaitu, studi literature, perencanaan dan pemodelan sistem, pembuatan hardware, perencanaan dan pembuatan software, uji coba dan analisi data, dan terakhir adalah penyusunan laporan berupa buku Tugas Akhir.

Pada tahap studi literature akan dipelajari mengenai literature yang sesuai dengan judul sebagai acuan untuk mengerjakan tahap selanjutnya. Literatur yang diperlukan meliputi cara kerja Potensiometer pada kecepatan motor Brushless DC Sensorless dan pemrograman Mikrokontroler ATmega16 dengan WinAVR. Selanjutnya, mempelajari karakteristik motor yang digunakan. Selanjutnya pembuatan hardware, membuat rangkaian potensiometer yang sederhana, dimulai pembuatan hardware dengan membuat mikrokontroler ATmega16, membuat perancangan *Driver* Motor *BLDC Sensorless* sesuai dengan desain yang telah dibuat. Perencanaan dengan pembuatan software,

dimulai dari program menjalankan Driver Motor BDLC *Sensorless* sehingga motor dapat berfungsi dengan baik. Setelah dilakukan simulasi, pengujian alat yang bertujuan untuk memastikan bahwa setiap komponen dari pembuatan alat dapat berfungsi sesuai dengan yang diinginkan. Data percobaan yang telah diperoleh selanjutnya akan dianalisis. Dari hasil analisis, akan ditarik kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan. Tahap akhir penelitian adalah penyusunan laporan penelitian.

### **1.6 Sistematika Laporan**

Pembahasan Tugas Akhir ini akan dibagi menjadi lima Bab dengan sistematika sebagai berikut:

- |         |  |
|---------|--|
| Bab I   | Pendahuluan  |
|         | Bab ini meliputi latar belakang, permasalahan, tujuan penelitian, metodologi penelitian, sistematika laporan dan relevansi |
| Bab II  | Teori Dasar  |
|         | Berisi penjelasan mengenai dasar teori penunjang yang berkaitan dengan Tugas Akhir   |
| Bab III | Perancangan Sistem   |
|         | Bab ini membahas desain dan perancangan alat mekanik dan elektrik  |
| Bab IV  | Simulasi, Implementasi dan Analisa Sistem  |
|         | Bab ini memuat hasil simulasi dan implementasi serta analisis dari hasil tersebut  |
| Bab V   | Penutup  |
|         | Bab ini berisi kesimpulan dan saran dari hasil pembahasan yang telah diperoleh   |

### **1.7 Relevansi**

Memanfaatkan yang bisa diperoleh dari perancangan alat untuk Tugas Akhir adalah sebagai berikut:

- Dapat dikembangkan lagi dengan metode *close loop*.
- Dapat diimplementasikan pada kendaraan listrik
- Pengganti Motor DC *brushed*, dikarenakan perawatannya lebih mudah

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----



## **BAB II**

### **TEORI PENUNJANG**

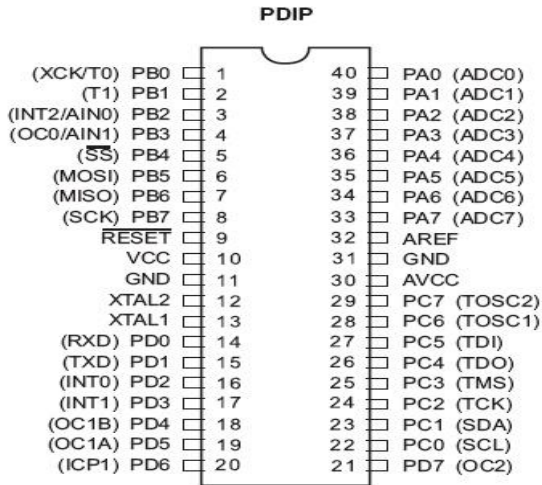
Ada dua metode yang pernah diusulkan untuk menyelesaikan masalah kontrol kecepatan pada Motor BLDC Sensorless. Pertama adalah mengatur kecepatan dengan metode push button yang difungsikan sebagai input dari pengendali motor BLDC.

Yang kedua yaitu menggunakan kontrol throttel atau semacam variable resistor. Sama dengan cara pertama tetap perlu wiring antara variable resistor ke kontroler Motor BLDC Sensorless. Inputnya berupa sinyal analog sehingga perlu disinkronkan dengan sinyal pwm.

Pada tugas akhir kali ini akan dilakukan perancangan kontrol kecepatan pada Motor BLDC Sensorless dengan menggunakan variable resistor. Penggunaan persis seperti menggunakan *throttle* pada sepeda motor pengguna, sehingga lebih efisien dan hemat. Selain itu kontrol kecepatan Motor BLDC Sensorless dapat sesuai apa yang diharapkan.

#### **2.1 Mikrokontroler ATmega16**

AVR merupakan seri mikrokontroler [1] CMOS 8-bit buatan Atmel, berbasis arsitektur *RISC (Reduced Instruction Set Computer)*. Hampir semua instruksi dieksekusi dalam satu siklus *clock*. AVR mempunyai 32 register general-purpose, timer/counter fleksibel dengan mode *compare*, *interrupt internal* dan *eksternal*, serial UART, *programmable Watchdog Timer*, dan *mode power saving*, ADC dan PWM internal. AVR juga mempunyai *In-System Programmable Flash on-chip* yang memungkinkan memori program untuk diprogram ulang dalam sistem menggunakan hubungan serial SPI. ATmega16 mempunyai *throughput* mendekati 1 MIPS per MHz membuat disainer sistem untuk mengoptimasi konsumsi daya versus kecepatan proses. Konfigurasi pin ATmega16 dapat dilihat pada gambar 2.1 serta bentuk fisik pada gambar 2.2



**Gambar 2.1** Konfigurasi Pin ATmega 16



**Gambar 2.2** Bentuk Fisik Atmega 16

Pin-pin pada ATmega16 dengan kemasan 40pin DIP (*dualinlinpackage*). Guna memaksimalkan performa, AVR menggunakan arsitektur *Harvard* (dengan memori danbus terpisah untuk program dan data).

## 2.2 Motor Brushless DC

Motor Brushless Direct Current [7] yang disingkat motor BLDC atau dapat disebut juga dengan motor BLAC merupakan motor listrik synchronous AC tiga fasa. Perbedaan pemberian nama ini terjadi karena BLDC memiliki tegangan back EMF berbentuk trapezoidal sedangkan BLAC memiliki tegangan back EMF berbentuk sinusoidal. Walau demikian keduanya memiliki struktur yang sama dan dapat dikendalikan dengan metode six-step maupun metode PWM sinusoidal. Dibandingkan dengan motor DC, BLDC memiliki efisiensi lebih tinggi karena drop tegangan pada penggunaan alat komutasi elektrik lebih kecil disbanding dengan menggunakan brush, biaya perawatan yang lebih rendah karena tidak adanya brush, respon kecepatan dinamik yang cepat karena memiliki rotor inertia yang lebih kecil akibat dari penggunaan permanent magnet, dan lifetime yang panjang karena tidak adanya brush dan commutator. Dibandingkan dengan motor induksi, BLDC memiliki efisiensi yang lebih tinggi karena torsi awal yang lebih tinggi dan juga rotor yang terbuat dari magnet permanen, selain itu motor BLDC juga memiliki respon kecepatan dinamik yang cepat pula karena dengan menggunakan permanent magnet di rotornya menghasilkan rotor inertia yang rendah. Walaupun memiliki kelebihan dibandingkan dengan motor DC dan motor induksi, pengendalian BLDC jauh lebih rumit untuk kecepatan dan torsi yang konstan karena tidak adanya brush yang menunjang proses komutasi dan harga BLDC jauh lebih mahal. Bagian atau komponen yang terdapat pada motor brushless dc yaitu sebagai berikut:

### a. Rotor

Rotor adalah bagian pada motor yang berputar karena adanya gaya elektromagnetik dari stator, dimana pada motor DC *brushless* bagian rotornya berbeda dengan rotor pada motor DC konvensional yang hanya tersusun dari satu buah elektromagnet yang berada diantara *brushes* (sikat) yang terhubung. Rotor dibuat dari magnet permanen dan dapat desain dari dua sampai delapan kutub Magnet Utara (N) atau Selatan (S). Bahan material magnetis yang baik sangat diperlukan untuk mendapatkan kerapatan medan magnet yang baik pula. Biasanya magnet permanen dibuat menggunakan magnet *ferrit*. Tetapi saat ini dengan kemajuan teknologi,

campuran logam sudah kurang populer untuk digunakan. Meskipun dinilai lebih murah, magnet *ferrit* mempunyai kekurangan yaitu kerapatan *fluks* yang rendah sebagai bahan material yang diperlukan untuk membuat rotor.

b. Stator

Stator adalah bagian pada motor yang diam/statis dan berfungsi sebagai medan putar motor untuk memberikan gaya elektromagnetik pada rotor sehingga motor dapat berputar. Pada motor DC *brushless* statornya terdiri dari 12 belitan (elektromagnet) yang bekerja secara elektromagnetik dimana stator pada motor DC *brushless* terhubung dengan tiga buah kabel untuk disambungkan pada rangkaian kontrol sedangkan pada motor DC konvensional stator-nya terdiri dari dua buah kutub magnet permanen.



**Gambar 2.3** Motor *Brushless* DC *Sensorless*

Gambar 2.3 merupakan bentuk fisik dari motor brushless dc yang digunakan pada tugas akhir ini. Motor ini memiliki daya sebesar 2000 watt, Arus sebesar 90 A dan Tegangan Sebesar 22V.

## 2.3 Variable Resistor

Resistor variabel atau biasa disebut resistor tidak tetap merupakan salah satu jenis komponen resistor yang nilai hambatannya dapat berubah-ubah (variable). Perubahan nilai dari resistor variabel biasanya dimanfaatkan untuk mengatur sesuatu yang sifatnya tidak tetap dan bergantung dari kondisi penerapan rangkaian.

Simbol resistor variabel pada umumnya digambarkan seperti simbol resistor dengan tanda panah ditengahnya atau tanda yang menyerupai huruf "T" namun agak miring sebagai simbol trimpot atau preset. Karena kebanyakan resistor variabel berkaki tiga maka panah yang berada ditengah merupakan kaki ketiga yang berada ditengah dengan nilai resistansi yang berubah-ubah terhadap kaki pinggir. Perubahan nilai resistor ini tergantung pada posisi kaki tengah terhadap kaki pinggir. Ilustrasi seperti Gambar 2.4

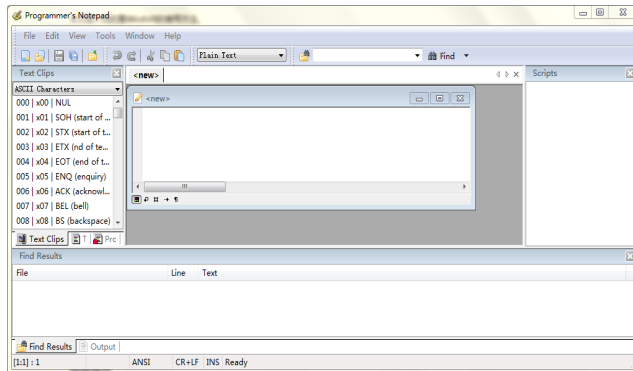


**Gambar 2.4** *Variable Resistor*

## **2.4 WinAVR**

WinAVR adalah paket AVR-GCC untuk distribusi Microsoft Window. Sedangkan AVR-GCC adalah sekumpulan tool/alat/software yang digunakan untuk mengubah kode bahasa C ke bahasa yang dimengerti oleh mikrokontroller AVR yaitu (\*.hex) intel. Compiler C hanya menghasilkan file asm (.S) dari tiap file input (.C) lalu assembler mengubahnya kedalam file objek, dimana banyaknya kode objek sama dengan kode file asm. Kemudian linker menyatukan file-file objek dan fungsi-fungsi yang bersilangan diantara file objek dan mengambil/menghubungkan modul library c yang digunakan ke dalam satu file objek yaitu file (.elf). Oleh avr-objcopy file (.elf) diubah menjadi file (.hex).

Karena winAVR merupakan software open source, maka banyak programmer dengan bebas mengembangkan, sehingga winAVR terus diperbaharui. Gambar 2.5 merupakan tampilan Programmer notepad WinAVR.



**Gambar 2.5** Programmer Notepad WinAVR

## 2.5 Baterai LiPo

Baterai Lithium Polimer atau biasa disebut dengan *LiPo*[8] adalah salah satu jenis baterai yang sering digunakan dalam dunia RC. Baterai ini merupakan Baterai terunggih dan paling maju dalam dunia Baterai saat ini. Keunggulan utamanya adalah *Ratio Power to Weight* nya yang memungkinkan baterai dicetak sesuai dengan keinginan. Baterai Lipo didasarkan pada Lithium Polymer kimia yang memungkinkan baterai ini memiliki kepadatan energi yang sangat tinggi dibandingkan dengan jenis lain dari baterai.

Baterai LiPo tidak menggunakan cairan sebagai elektrolit melainkan menggunakan elektrolit polimer kering yang berbentuk seperti lapisan plastik film tipis. Lapisan film ini disusun berlapis-lapis diantara anoda dan katoda yang mengakibatkan pertukaran ion.

Baterai dibangun dari sel-sel persegi panjang yang dihubungkan bersama untuk membentuk baterai. Sebuah sel yang dapat dianggap sebagai baterai itu sendiri, memiliki tegangan 3.7 volt per sel. Dengan menghubungkan lebih dari satu dalam seri, tegangan dapat meningkat menjadi 7.4V untuk baterai 2 sel, 11.1V

untuk baterai 3 cell dan sebagainya. Dengan menghubungkan lagi baterai secara paralel kapasitas dapat ditingkatkan.

Setiap sel dalam baterai Lipo Anda memiliki tegangan nominal 3.6V, artinya sewaktu RC Anda lowbat, jangan dipaksa lagi. Ini adalah kesalahan yang paling sering terjadi pada pemula karena tidak puas dengan play time, jangan sampai membiarkan drop tegangan minimum di bawah 3.0V walaupun hanya sesekali. Demikian pula Anda harus memastikan bahwa tegangan maksimum untuk sel lipo adalah 4.2V. Jika tegangan dari setiap sel dalam baterai Lipo Anda melampaui kisaran ini, dapat menyebabkan Lipo cepat gembung, kebakaran dan memicu ledakkan.

Kapasitas baterai menunjukkan seberapa banyak energi yang dapat disimpan oleh sebuah baterai dan diindikasikan dalam miliampere hours (mAh). Semakin besar jumlah mAh, maka kapasitas baterai yang dimiliki semakin besar, sehingga dapat menjalankan motor anda lebih lama, atau dengan kata lain seberapa banyak beban yang dapat diberikan kepada sebuah baterai selama 1 jam, dimana setelah 1 jam baterai akan benar-benar habis.

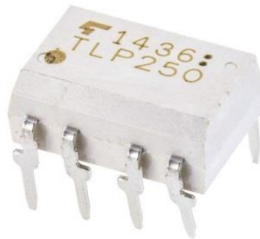
Discharge Rate adalah spesifikasi yang sangat penting untuk memastikan ketika membeli baterai. Jumlah ini, juga dikenal sebagai C rating baterai. Discharge rate biasa disimbolkan dengan "C" merupakan notasi yang menyatakan seberapa cepat sebuah baterai untuk dapat dikosongkan (discharge) secara aman dari anoda ke katoda. Semakin cepat pertukaran ion yang dapat terjadi maka berarti semakin nilai dari "C". Gambar 2.6 merupakan baterai yang akan digunakan dalam tugas akhir ini.



**Gambar 2.6** Baterai LiPo (Lithium Polimer)

## 2.6 Optocoupler TLP250

Optocoupler juga dikenal dengan sebutan Opto-isolator, Photocoupler atau Optical Isolator. Optocoupler adalah komponen elektronika yang berfungsi sebagai penghubung berdasarkan cahaya optik. Pada dasarnya Optocoupler terdiri dari 2 bagian utama yaitu Transmitter yang berfungsi sebagai pengirim cahaya optik dan Receiver yang berfungsi sebagai pendeteksi sumber cahaya. Gambar 2.7 merupakan bentuk fisik dari TLP250. Masing-masing bagian Optocoupler (Transmitter dan Receiver) tidak memiliki hubungan konduktif rangkaian secara langsung tetapi dibuat sedemikian rupa dalam satu kemasan komponen.



**Gambar 2.7** Bentuk Fisik IC TLP250

Optocoupler yang digunakan pada tugas akhir ini yaitu memiliki tegangan rekomendasi 15 – 25 VDC, Vout yang dihasilkan sesuai dengan besar nilai presentase dari penyulut opocoupler ini. Selain sebagai driver mosfet juga berfungsi sebagai *isolated* antara mikrokontroler dengan mosfet agar kontroler tetap aman ketika ada sebuah *fault* pada mosfet

## 2.7 Mosfet IRLS 3036

MOSFET (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor) adalah sebuah perangkat semionduktor yang secara luas di gunakan sebagai switch dan sebagai penguat sinyal pada perangkat elektronika. MOSFET adalah inti dari sebuah IC ( integrated Circuit ) yang di desain dan di fabrikasi dengan single chip karena ukurannya yang sangat kecil. MOSFET memiliki empat gerbang terminal antara lain adalah Source (S), Gate (G), Drain (D) dan Body(B). Gambar 2.8 merupakan bentuk fisik dari IRLS 3036



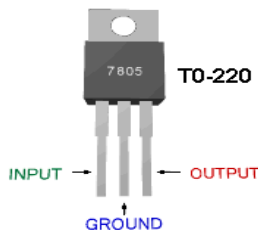


**Gambar 2.8** Bentuk Fisik IRLS 3036

Spesifikasi dari Mosfet ini yaitu mampu dialiri arus sebesar 270 A , Tegangan Maksimal sebesar 60 V dan mampu menampung arus *drain pulse* sebesar 1100A. Untuk penggunaan dalam jangka panjang Mosfet ini hanya mampu dialiri arus sebesar 195A.

## 2.8 Regulator LM7805

Regulator ini menghasilkan tegangan output stabil 5 Volt dengan syarat tegangan input yang diberikan minimal 7-8 Volt (lebih besar dari tegangan output) sedangkan batas maksimal tegangan input yang diperbolehkan dapat dilihat pada datasheet IC 78XX karena jika tidak maka tegangan output yang dihasilkan tidak akan stabil atau kurang dari 5 Volt. ). Komponen ini digunakan sebagai catu daya dari mikrokontroler yang hanya mampu beroperasi 5V saja. Berikut konfigurasi dari LM7805 ditunjukkan pada Gambar 2.9



**Gambar 2.9** Konfigurasi LM7805

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

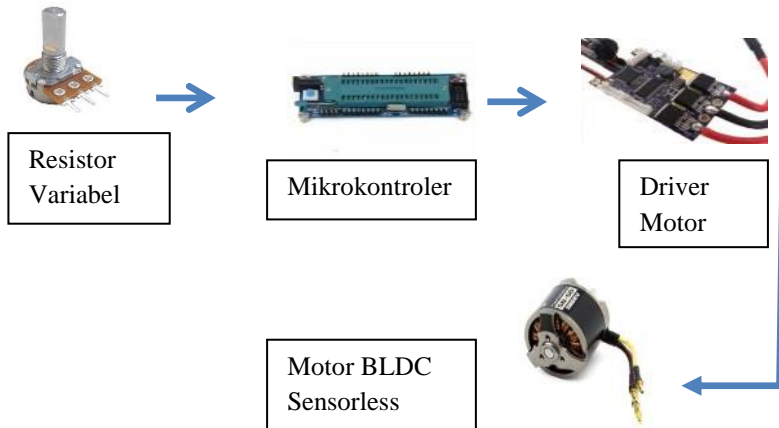
## **BAB III**

### **PERENCANAAN DAN PEMBUATAN ALAT**

Pada bab ini berisi tahapan mengenai tahapan yang dilakukan dalam perencanaan dan pembuatan tugas akhir. Permasalahan dari bab ini akan dijelaskan mengenai blok fungsional sistem secara keseluruhan yang meliputi proses kerja alat dalam bentuk alur diagram, setelah itu perancangan perangkat keras dan perancangan software. Berikut ini merupakan perancangan sistem secara keseluruhan dari tugas akhir :

#### **3.1 Diagram Fungsional Sistem**

Sebelum melakukan perancangan perangkat keras dan perangkat lunak, diperlukan sebuah perancangan blok fungsional sistem berupa blok diagram yang menjelaskan kerja secara keseluruhan tugas akhir ini. Secara keseluruhan blok fungsional sistem dapat dilihat pada gambar 3.1.



**Gambar 3.1.** Sketsa Diagram Fungsional Alat

Pada Gambar 3.1 merupakan sistem dari keseluruhan kerja alat pada Tugas Akhir ini. Resistor variabel yang berfungsi sebagai

masukansinyal analog yang menghasilkan tegangan akan mengirim data sinyal analog akan dikirim ke mikrokontroler

Pada mikrokontroler ATmega16 data akan dikonversi dari data sinyal analog menjadi digital dikarenakan mikrokontroler hanya mampu mengolah data digital saja. Output data berupa 6 buah outputan 3 pada sisi *high* hanya diberi masukan output logika 1 dan 0, sedangkan pada sisi *low* yang digunakan sebagai outputan *Pulse with Modulation*, lalu data tersebut akan dikirim ke *driver motor* yang didalamnya terdapat komponen opto coupler TLP250 yang difungsikan sebagai driver mosfet untuk menyulut Mosfet IRLS3036, Outputan sebanyak 3 fasa dikarenakan motor BLDC *sensorless* bekerja seperti motor induksi 3 fasa yang memerlukan timing komutasi yang biasanya dinamakan dengan *six step commutation*, sehingga kecepatan motor dapat dikendalikan sesuai dengan yang dikehendaki. Pengendaliannya input variabel resistor hanya perlu diputar saja. Oleh karena itu perlu dilakukan pengecekan diawal pengopresasian alat. Untuk kecepatan motor diatur sedemikian rupa sehingga sesuai dengan keluaran yang diharapkan.

Dalam pembuatan tugas akhir ini diperlukan komponen pokok untuk merancang alat yang sesuai dengan apa yang diinginkan :

1. Mikrokontroler yang digunakan adalah mikrokontroler ATmega16. Mikrokontroler ini digunakan untuk menyimpan program sensor juga sebagai pusat kendali sistem sesuai dengan pengaturan yang diinginkan dalam Tugas Akhir ini.
2. Variabel resistor, berfungsi sebagai masukan yang akan mengirimkan sinyal analog yang akan digunakan sebagai input dari sinyal PWM
3. Motor BLDC *Sensorless*, berfungsi sebagai alat yang dikontrol kecepatannya.
4. Catu Daya, digunakan untuk memberikan sumber tegangan pada beberapa komponen elektronik. Catu daya tegangan yang dibutuhkan yaitu 22 volt, dan 5 volt.

### **3.2 Perancangan *Hardware***

Perancangan *Hardware* dilakukan dengan merancang rangkaian- rangkaian elektronika dan rancangan mekanik. Perancangan *Hardware* ini meliputi:

1. Rangkaian Mikrokontroler ATmega16
2. Rangkaian *Driver Motor BLDC Sensorles*

Langkah pertama untuk membuat rangkaian yaitu membuat skema. Skema rangkaian ini berfungsi untuk mengetahui dengan baik atau tidak. Hal ini dapat dilakukan dengan mensimulasikan rangkaian pada *software* simulasi. Simulasi ini bermaksudkan dapat membantu untuk mengetahui rangkaian yang akan dibuat dapat berjalan dengan baik sebelum dilakukan pembuatan rangkaian dengan komponen yang nyata. Ini dapat membantu menurunkan tingkat kegagalan pada rangkaian.

#### **3.2.1 Perancangan Mikrokontroler ATmega16**

Sistem Minimum Mikrokontroler merupakan sebuah rangkaian paling sederhana dari sebuah mikrokontroler agar IC mikrokontroler tersebut beroperasi dan diprogram. Rangkaian Mikrokontroler AVR ATmega16 ini digunakan sebagai kontroler dari seluruh aktivitas yang dikerjakan oleh alat.

ATmega16 terdiri dari 40 pin, terdapat *port A*, *port B*, *port C*, *port D*. Ada juga pin MISO, MOSI, SCK beserta RESER, VCC dan GND yang dapat langsung dihubungkan ke *downloader* atau USBASP. Mikrokontroler ATmega16 digunakan untuk mengontrol seluruh aktifitas dari sistem alat ini. Fungsi dari mikrokontroler ini adalah untuk mencoba nilai dari *potensiometer*. Untuk gambar rangkaian mikrokontroler ATmega16 dapat dilihat pada lampiran A.1. Komponen pembuatan rangkaian mikrokontroler ATmega16 yaitu sebagai berikut:

1. IC ATmega16
2. Soket IC ATmega16
3. Resistor 10k
4. Push Button
5. Pin Header Male
6. Kapasitor 22pf
7. Crystal Oscillator 16Mhz
8. Led 3mm

### 3.2.2 Rangkaian Driver Motor BLDC Sensorless

Motor brushless DC digunakan untuk menggerakkan roda dari *skateboard*. Namun, pada motor brushless dc sendiri tidak dapat langsung dikendalikan oleh keluaran dari mikrokontroler. Tegangan mikrokontroler hanya sebesar 5 volt, sedangkan motor brushless dc yang digunakan pada *skateboard*. Membutuhkan tegangan sebesar 22volt agar dapat bekerja dengan optimal. Rangkaian pengendali yang digunakan pada Tugas Akhir ini adalah rangkaian *Driver Motor* dengan IC TLP250 serta Power Mosfet IRL 3713

Rangkaian *Driver Motor* ini mampu bekerja pada arus sebesar 270 A, dengan memiliki fungsi PWM pada sisi Low mosfet saja. Penggunaan *Driver Motor* ini dikarenakan motor Brushless hanya bisa berputar sesuai tahap kerja *six step commutation* yang membutuhkan komponen penyaklaran sebanyak 6 buah. Selain itu arus maksimal yang mengalir pada motor brushless dc yaitu 90 A. sedangkan arus yang dibutuhkan ketika *starting* awal motor 270 A sekitar tiga dari arus maksimal yang mengalir pada motor brushless dc.

*Wiring* dan rangkaian antara *Driver Motor* dan mikrokontroler. *Driver Motor* berfungsi sebagai antarmuka pengontrol motor brushless dc. Skematik Rangkaian driver Motor BLDC *Sensorless* dapat dilihat pada lampiran A.1

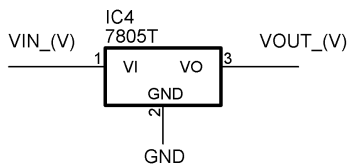
1. Port PD6 disambungkan dengan kaki UH pada *driver motor*.
2. Port PD7 disambungkan dengan kaki UL pada *driver motor*.
3. Port PD1 disambungkan dengan kaki VH pada *driver motor*.
4. Port PD5 disambungkan dengan kaki VL pada *driver motor*.
5. Port PB5 disambungkan dengan kaki WH pada *driver motor*.
6. Port PD4 disambungkan dengan kaki WL pada *driver motor*.
7. Kaki VCC pada mikrokontroler dihubungkan pada kaki VCC pada *driver motor*.
8. Kaki VCC pada mikrokontroler dihubungkan pada kaki VCC pada *driver motor*.

### 3.2.3 Rangkaian Variable Resistor

*Variable resistor* merupakan rangkaian pembagi tegangan yang difungsikan sebagai pengatur tegangan. Lalu tegangan akan masuk ke mikrokontroler. *Variabel resistor* menghasilkan sinyal analog sedangkan mikrokontroler hanya bisa memproses sinyal digital. Oleh karena itu perlu dikonversi terlebih dahulu dari sinyal analog ke sinyal digital. Didalam mikrokontroler sudah ada fitur pengkonversian yang disebut ADC (*analog digital converter*). Terdapat 3 pin out pada *variable resistor* nomor 2 disambungkan dengan kaki adc pada mikrokontroler. Skematik Rangkaian *Variable Resistor* dapat dilihat pada lampiran A.1

### 3.3 Rangkaian Regulator LM7805

Rangkaian Regulator LM7805 merupakan rangkaian penurun tegangan menjadi 5V DC dengan syarat tegangan input yang diberikan minimal 7-8 Volt (lebih besar dari tegangan output) sedangkan batas maksimal tegangan input 7-30 VDC karena jika tidak maka tegangan output yang dihasilkan tidak akan stabil atau kurang dari 5 Volt. ). Komponen ini digunakan sebagai catu daya dari mikrokontroler yang hanya mampu beroperasi 5V saja. Pengukurannya yaitu menghubungkan kaki 3 ke positif voltmeter dan kaki 2 ke negative avometer. Gambar rangkaian pada gambar 3.2



**Gambar 3.2 Rangkaian Regulator 7805**

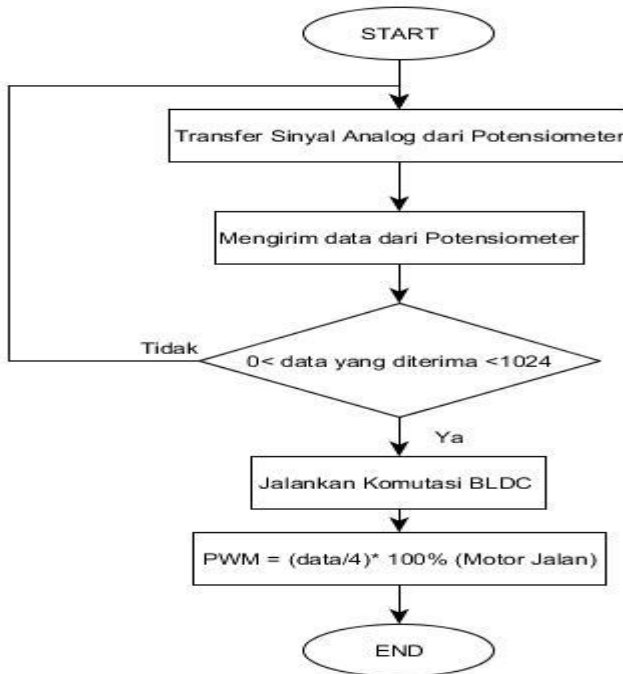
### 3.4 Perancangan Software

Perancangan *software* dilakukan dengan merancang program untuk dapat menggerakkan motor brushless dc dengan baik. Perancangan *software* ini meliputi :

1. Perancangan program pada *software* WinAVR

### 3.4.1 Perancangan Program pada Software WinAVR

Pada tahap perancangan program di WinAVR, program yang akan dibuat yaitu meliputi pengaturan kecepatan brushless dc, dan pengiriman data dari *potensiometer*. Sebelum melakukan perancangan program, terlebih dahulu membuat *flowchart* atau diagram alir dari sistem secara keseluruhan. Berikut ini merupakan *flowchart* sistem secara keseluruhan pada Gambar 3.3 :



**Gambar 3.3** Flowchart Secara Keseluruhan

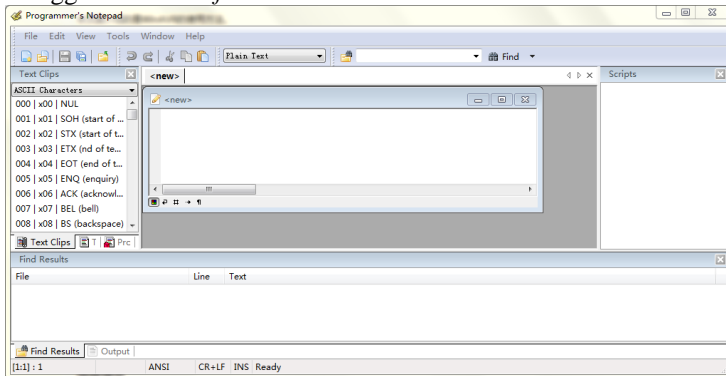
Flowchart merupakan gambar atau bagan yang menunjukkan urutan dan hubungan antar proses beserta instruksinya. Bagan dinyatakan dengan menggunakan simbol. Setiap simbol memiliki makna proses tertentu. Menghubungkan setiap simbol dengan menggunakan garis penghubung. *Flowchart* merupakan langkah awal dari pembuatan program.



Pengolahan dengan komputer, dapat dirangkum urutan dasar pemecahan suatu masalah yaitu :



- a. **START** : instruksi untuk persiapan peralatan yang diperlukan sebelum menangani pemecahan masalah.
- b. **READ** : instruksi untuk membaca data dari suatu peralatan input.
- c. **PROCESS** : kegiatan yang berkaitan dengan pemecahan persoalan sesuai dengan data yang dibaca.
- d. **WRITE** : instruksi untuk merekam hasil kegiatan ke peralatan *output*.
- e. **END** : mengakhiri kegiatan pengolahan.


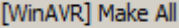
Dalam pembuatan program untuk tugas akhir ini menggambarkan *Software WinAVR*



**Gambar 3.4** Tampilan awal WinAVR

Dari Gambar 3.4 dapat dilihat tampilan awal *software WinAVR* masih belum terisi program. Sebelum menjelaskan tentang bagaimana cara memogram menggunakan *software* ini terlebih dahulu dijelaskan beberapa simbol yang sering digunakan pada *software* ini yaitu :

1.  Merupakan simbol *create new project*. Simbol ini berfungsi untuk memulai sebuah *project* program baru.
2.  Simbol disamping adalah simbol *open file* atau *project*. Simbol ini berfungsi untuk membuka file atau *project* yang telah dibuat sebelumnya.

3.  Simbol ini merupakan simbol *save file*. Simbol ini berfungsi untuk menyimpan file atau *project* yang sedang dibuat.
4.  Merupakan fitur *build all* atau *compile* yang berfungsi untuk mengoreksi apakah program benar atau salah.

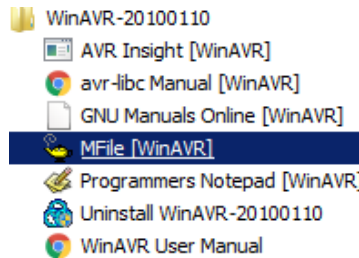
### 3.4.2 Perancangan Program Kontrol Kecepatan Motor

Pada tahapan ini akan membuat Makefile terlebih dahulu. Secara umum makefile adalah aturan untuk memanggil tiga proses berikut:

- 1.all :proses untuk nge-build (compiling & linking)
- 2.clean :menghapus file-file obyek hasil building
- 3.program :mendownload ke flash.

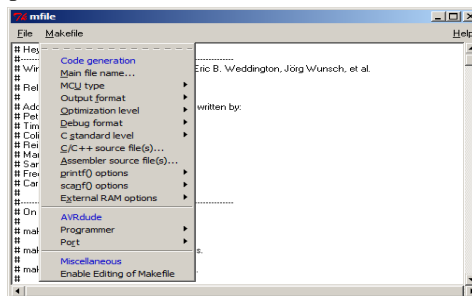
Langkah-langkah membuat makefile yaitu :

1. Klik *software MFile*[WinAVR] seperti pada Gambar 3.5 :



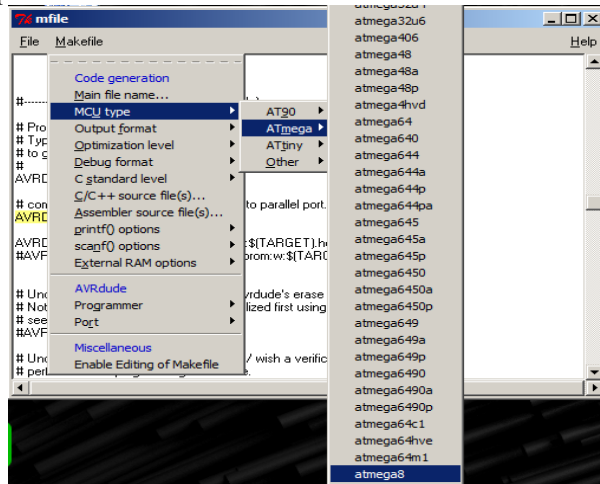
**Gambar 3.5** *Software MFile* [WinAVR]

2. Masuk dalam *software MFile*, lalu pilih *toolbar Makefile* Seperti Gambar 3.6



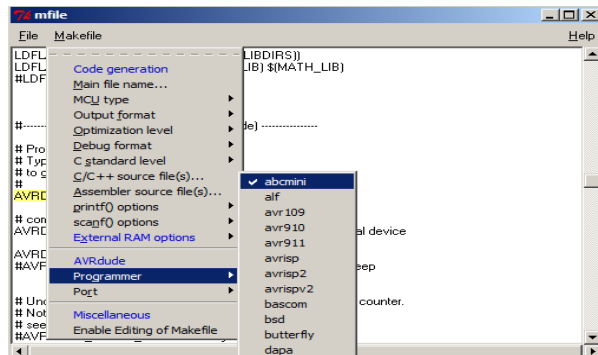
**Gambar 3.6** Tampilan *toolbar Makefile*.

- Pilih *MCU type*, ATmega lalu pilih ATmega 16. Seperti pada Gambar 3.7



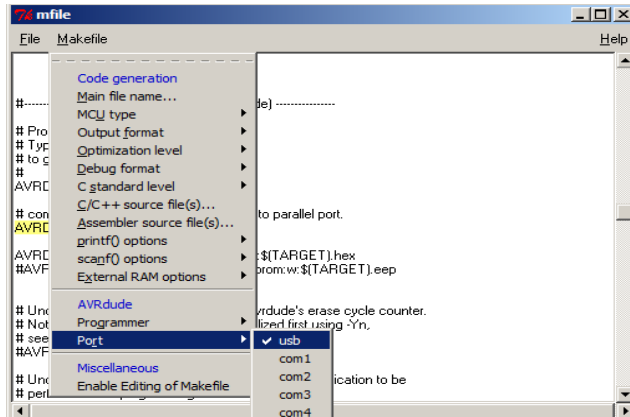
**Gambar 3.7** Tampilan Pilihan *MCU Type*

- Pilih Programmer dengan *usbasp*. Karena *port usbasp* tidak tersedia, maka dapat memilih *abcmmini* seperti Gambar 3.8



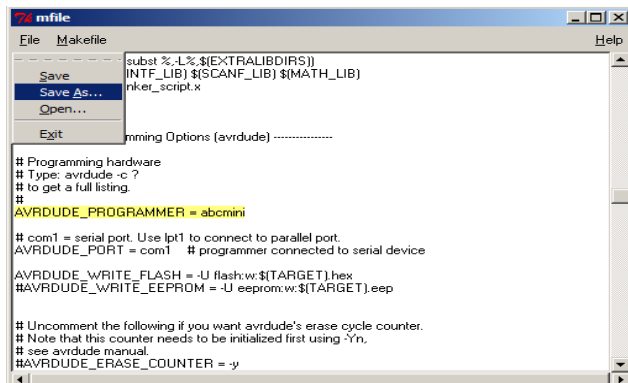
**Gambar 3.8** Tampilan pilihan *programmer*.

- Pilih *Port*, lalu klik *usb* pada menu *toolbar Makefile*. Seperti Gambar 3.9



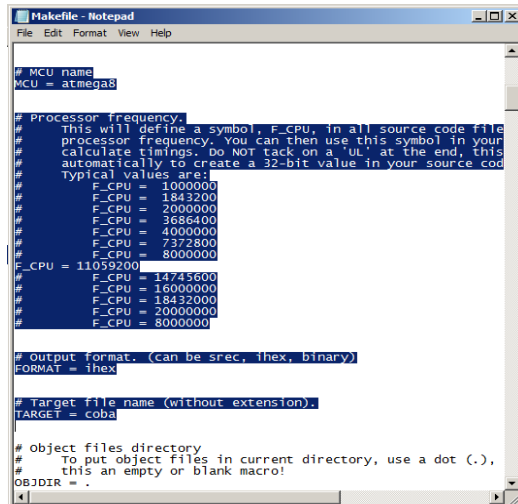
**Gambar 3.9** Tampilan *toolbar Makefile Port usb*

- Lalu klik *save as* pada pilihan *toolbar File*. Seperti Gambar 3.10



**Gambar 3.10** Tampilan *toolbar Save As*

- Setelah disimpan, buka berkas *makefile* dengan *notepad*. Lalu ganti *F\_CPU* sesuai dengan *oscillator* mikrokontroler dan tulis target dengan nama "coba". Seperti Gambar 3.11



```
# Makefile - Notepad
File Edit Format View Help

# MCU name
MCU = atmega8

# Processor frequency
# This will define a symbol, F_CPU, in all source code files
# processor frequency. You can then use this symbol in your
# calculate timings. Do NOT tack on a 'UL' at the end, this
# automatically to create a 32-bit value in your source code
# Typical values are:
# F_CPU = 1000000
# F_CPU = 1843200
# F_CPU = 2000000
# F_CPU = 3686400
# F_CPU = 4000000
# F_CPU = 7372800
# F_CPU = 8000000
F_CPU = 11059200
# F_CPU = 14745600
# F_CPU = 16000000
# F_CPU = 18432000
# F_CPU = 20000000
# F_CPU = 80000000

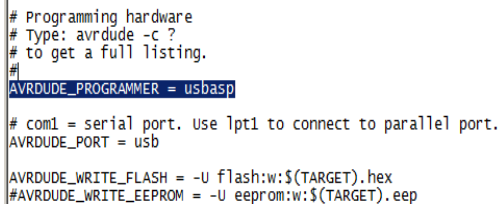
# Output format. (can be srec, ihex, binary)
FORMAT = ihex

# Target file name (without extension).
TARGET = coba

# Object files directory
# To put object files in current directory, use a dot (.),
# this an empty or blank macro!
OBJDIR = .
```

**Gambar 3.11** Tampilan berkas make file yang perlu diganti

8. Kemudian ubah *AVRDUDE\_PROGRAMMER* yang semula *abcmini* menjadi *usbasp*, dikarenakan *downloader* yang digunakan menggunakan *usbasp* seperti Gambar 3.12



```
# Programming hardware
# Type: avrdude -c ?
# to get a full listing.
#
AVRDUDE_PROGRAMMER = usbasp

# com1 = serial port. Use lpt1 to connect to parallel port.
AVRDUDE_PORT = usb

AVRDUDE_WRITE_FLASH = -U flash:w:$(TARGET).hex
AVRDUDE_WRITE_EEPROM = -U eeprom:w:$(TARGET).eep
```

**Gambar 3.12** Tampilan *Avrdude\_programmer*

9. Buka *Programmer Notepad*, lalu buat program baru kemudian *save as* sesuai target pada *makefile* “coba” pada Gambar 3.13



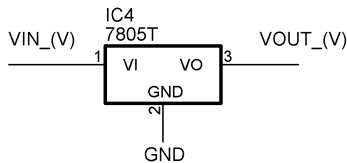
## BAB IV

### UJI UKUR DAN UJI COBA

Pada bab ini membahas tentang pengujian serta pengukuran dari perangkat keras pada sistem secara keseluruhan

#### 4.1 Pengukuran *Regulator* LM7805

Pengukuran ini menggunakan multimeter digital “SANWA” yang digunakan sebagai alat ukur. Probe berwarna merah dihubungkan pada terminal tegangan *output*. Probe berwarna hitam dihubungkan dengan terminal *ground*. Rangkaian ditunjukkan pada gambar 4.1



**Gambar 4.1** Pengukuran Tegangan LM7805

Tujuan Pengukuran ini untuk mengetahui tegangan *output* LM7805. Hasil pengukuran tegangan *output* pada baterai terdapat pada Tabel 4.1

**Tabel 4.1** Hasil pengukuran tegangan *Output* LM7805

No.	Vin (V)	Vout (V)
1	1	0,01
2	3	0,02
3	5	0,01
4	9	4,62
5	12	4,64
6	15	4,64
7	22	4,67

Kesimpulan dari pengukuran pada tabel 4.1 *Regulator* LM7805 akan bekerja jika diberi Vin lebih dari 5VDC, maka hasilnya Vout akan didapatkan 4,6VDC. Jika diberi *Input* dibawah 5VDC Vout tidak menghasilkan tegangan keluaran.

#### 4.2 Pengukuran *Output* Catu Daya LiPo

Pengukuran ini menggunakan multimeter digital “SANWA” yang digunakan sebagai alat ukur. Probe berwarna merah dihubungkan pada kabel berwarna merah pada baterai LiPo. Probe berwarna hitam dihubungkan dengan kabel hitam baterai LiPo seperti pada Gambar 4.2. yang didapatkan nilai error sebesar :

$$\text{Error (\%)} = (\text{Vout Terukur} - \text{Vout Tertera}) \times 100\%$$



**Gambar 4.2** Pengukuran baterai LiPo

Tujuan Pengukuran ini untuk mengetahui tegangan *output* Baterai Lipo yang diharapkan. Hasil pengujian tegangan *output* pada baterai terdapat pada Tabel 4.1.

**Tabel 4.1** Hasil pengukuran tegangan *Output* Baterai (LiPo)

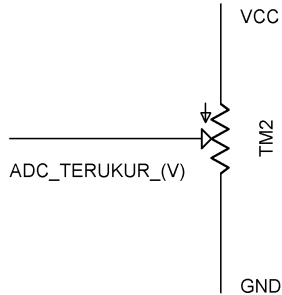
No.	Vout yang Tertera	Vout Terukur	Error (%)	Keterangan
1.	22.2 V	22,37 V	3,7%	Sebagai catu daya Motor BLDC dan <i>driver</i>

Kesimpulan dari tabel 4.2 Vout terukur menghasilkan tegangan dibawah dari Vout yang tertera pada bungkus baterai yakni 23,37VDC. Dengan demikian dapat disimpulkan error pada baterai sebesar 3,7%.



### 4.3 Pengukuran Tegangan *Potensiometer*

Pengukuran ini menggunakan multimeter digital “SANWA” yang digunakan sebagai alat ukur. Probe berwarna merah dihubungkan pada ADC terukur atau kaki nomor 2 pada potensiometer. Probe berwarna hitam dihungkan dengan terminal *ground* atau kaki nomor 3, seperti gambar 4.3



**Gambar 4.3** Pengukuran Tegangan Potensometer

Tujuan Pengukuran ini untuk mengetahui perbandingan antara tegangan terukur dan tegangan yang diharapkan pada rangkaian potensiometer. ADC yang diharapkan didapat dari:

ADC yang diharapkan = Besar Presentase x Vout Regulator 7805

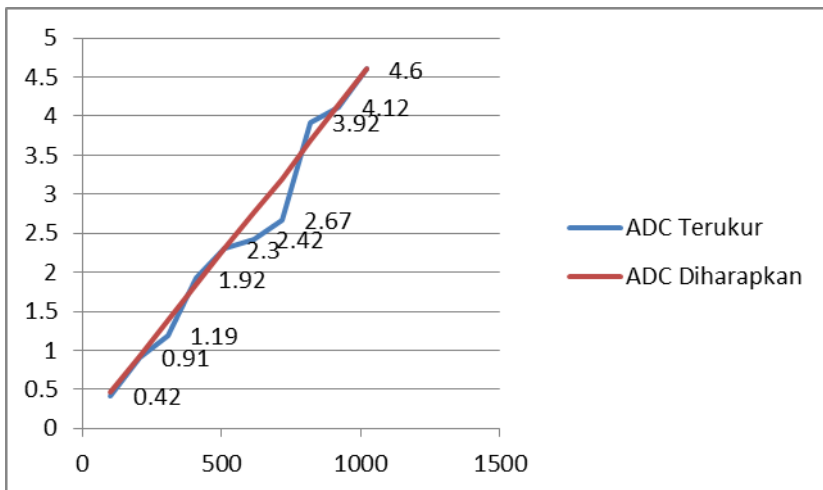
Data dapat dilihat pada Tabel 4.2 dan gambar 4.4

**Tabel 4.2** Hasil Pengukuran Tegangan *Potensiometer*

Besar Persen (%)	ADC input desimal	ADC terukur (V)	ADC yang diharapkan
10	102	0,42V	0,46
20	205	0,91V	0,92
30	307	1,21V	1,38
40	409	1,92V	1,84
50	512	2,30V	2,3
60	614	2,62V	2,76
70	717	3,07V	3,2
80	819	3,92V	3,68
90	921	4,12V	4,14
100	1013	4,6V	4,6

Tabel 4.2 merupakan tabel pengukuran tegangan potensiometer. Juga terdapat ADC input desimal yang merupakan bit ADC pada mikrokontroler. Bit ADC tersebut sebesar 10bit atau memiliki nilai 1023 jika dikonversikan pada nilai desimal. Nilai desimal dari nomor 1 sampai dengan sepuluh didapatkan dari rumus sebagai berikut :

$$\frac{\text{Pengaturan ADC dalam desimal } s}{1023} \times 100\%$$



**Gambar 4.4** Grafik Pengukuran Potensiometer

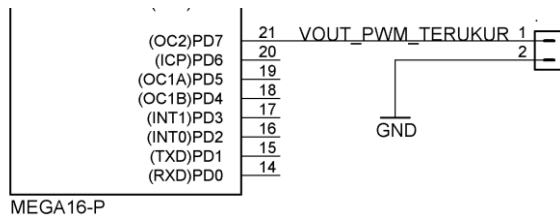
Dari data yang didapatkan dapat ditarik kesimpulan nilai tidak linier terdapat pada adc terukur 1,21V; 2,62V; 3,07V; 3,92V. dari keempat data tersebut didapatkan nilai tidak linier yang paling besar

#### 4.4 Pengukuran Tegangan *Output PWM* Mikrokontroler

Pengukuran ini dilakukan untuk mengetahui besar tegangan *output* yang pada mikrokontroler. Pengukuran menggunakan multimeter digital “SANWA”. Pengukuran dilakukan hanya pada *Pin* yang memiliki fungsi *Timer PWM*. Terdapat 3 *Timer PWM* yang diukur yaitu *pin* PD7 (*timer2*), *pin* PD5 (*timer1A*) dan PD4

(*timer1B*). pengukuran dilakukan dengan meletakkan *probe* merah pada pin *output Timer PWM* dan *probe* hitam pada *ground*. Pengukuran seperti gambar 4.4. Rangkaian keluaran tegangan PWM diharapkan didapat dari:

Vout PWM yang diharapkan = Besar Presentase x Vout Regulator 7805



**Gambar 4.5** Pengukuran keluaran tegangan PWM mikrokontroler

Hasil pengujian tegangan output terdapat pada Tabel 4.3 dan Gambar 4.6.

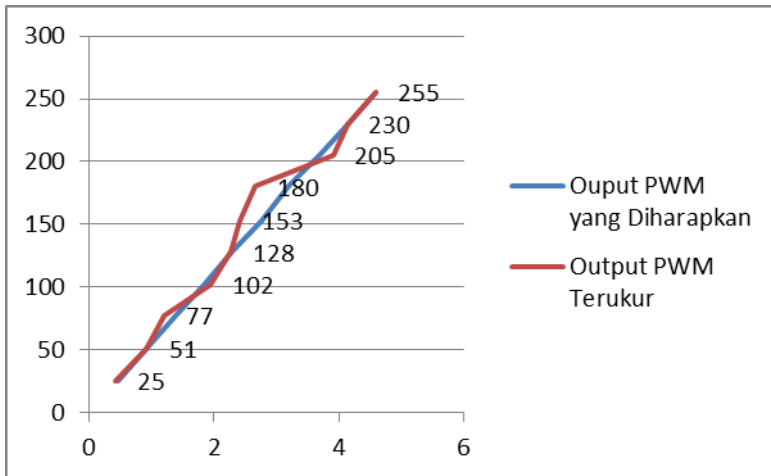
**Tabel 4.3** Hasil pengukuran tegangan *Output PWM*

No.	Pengaturan <i>OCR</i> dalam decimal	Tegangan output <i>PWM</i> Terukur	Tegangan output <i>PWM</i> Diharapkan
1.	25	0,42V	0,46
2.	51	0,91V	0,92
3.	77	1,21V	1,38
4.	102	1,92V	1,84
5.	128	2,30V	2,3
6.	153	2,62V	2,76
7.	180	3,07V	3,2
8.	205	3,92V	3,68
9.	230	4,12V	4,14
10.	255	4,6V	4,6

Tabel 4.3 merupakan tabel pengukuran tegangan keluaran PWM. Juga terdapat OCR yang merupakan bit PWM pada

mikrokontroler. Bit OCR tersebut sebesar 8bit atau memiliki nilai 255 jika dikonversikan pada nilai desimal. Nilai desimal dari nomor 1 sampai dengan sepuluh didapatkan dari rumus sebagai berikut :

$$\frac{\text{Pengaturan OCR dalam desimal } s}{255} \times 100\%$$

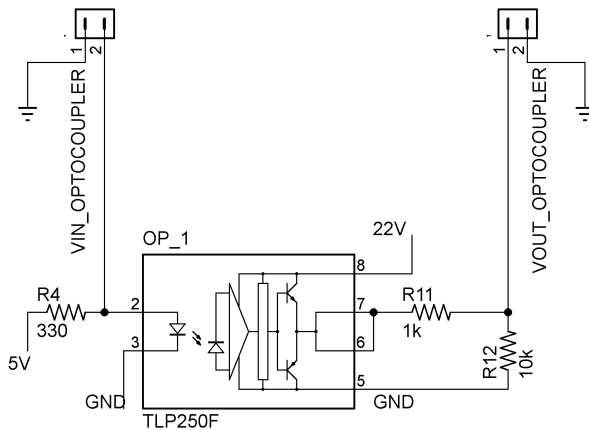


**Gambar 4.6** Grafik Tegangan output PWM mikrokontroler

Dari data yang didapatkan dapat ditarik kesimpulan nilai tidak linier terdapat pada PWM terukur 1,21V; 2,62V; 3,07V; 3,92V. dari keempat data tersebut didapatkan nilai kurang presisi yang besar

#### 4.5 Pengukuran Tegangan *Optocoupler* TLP250

Pengukuran pada *Optocoupler* TLP250 dilakukan untuk mengetahui besar tegangan input dan output pada *Optocoupler*. Pengukurannya dengan menggunakan multimeter “SANWA”. pengukuran dilakukan dengan meletakkan *probe* merah pada pin Vin *Optocoupler* maupun Vout *Optocoupler* dan *probe* hitam pada *ground*. Cara pengukuran dapat dilihat pada gambar 4.6



**Gambar 4.7** Pengukuran *input* dan *output* Optocoupler

Hasil pengujian tegangan output terdapat pada Tabel 4.4 dan Gambar 4.7

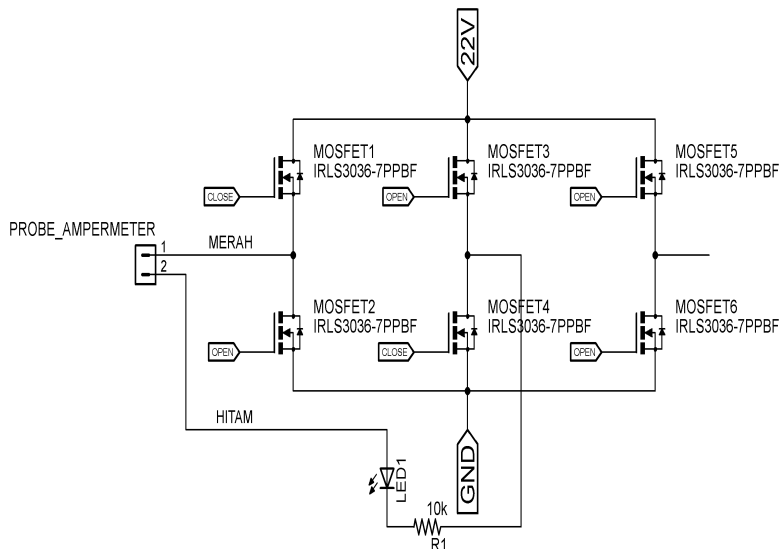
**Tabel 4.4** Hasil pengukuran Tegangan *input* dan *output* Optocoupler

No.	Tegangan Input Optocoupler (V)	Tegangan Output Optocoupler (V)	Presentase (%)
1.	0,09	7,9	10
2.	0,2	9,3	20
3.	0,38	10	30
4.	0,49	10,8	40
5.	0,64	11,6	50
6.	0,71	12,5	60
7.	0,83	14,1	70
8.	0,98	16,7	80
9.	1,34	19,2	90
10.	1,4	21,3	100

Kesimpulandari pengukuran Optocoupler yaitu optocoupler mampu *mendriving* mulai dari tegangan 7,9 sampai 21,3V dan mampu diberi input maksimal 1,4 sampai 0,09 volt.

#### 4.6 Pengukuran Arus Dengan Beban Led 3mm

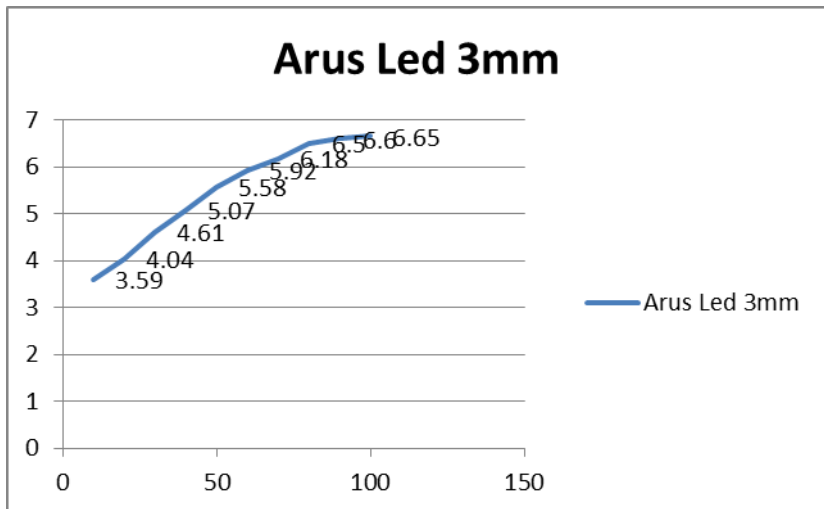
Pengukuran Arus beban Led 3mm bertujuan mengetahui besaran arus yang mengalir pada rangkaian. Pengujian ini dilakukan menggunakan multimeter digital “SANWA”. Probe berwarna merah dihubungkan pada header 1 atau dihubungkan pada sambungan antara mosfet 1 dan mosfet 2 yang tepatnya antara fasa U high dan fasa U low. Probe berwarna hitam dihubungkan pada header 2 atau dihubungkan pada sambungan antara mosfet 3 dan mosfet 4 yang tepatnya antara fasa V high dan fasa V low, syarat dari pengukuran ini yaitu mengaktifkan mosfet 1 dan mosfet 4 atau *closed switch*. Mengnonaktifkan mosfet 2 dan mosfet 3 atau *open switch*. Serta mosfet 5 dan mosfet 6 dinonaktifkan yang artinya fasa W *floating*, seperti Gambar 4.8



**Gambar 4.8** Rangkaian Pengukuran Arus dengan beban Led 3mm

Hasil pengujian dapat dilihat Pada Tabel 4.5 dan Gambar 4.9  
**Tabel 4.5** Hasil pengukuran arus beban led 3mm

Presentase Potensiometer (%)	Arus beban Led 3mm (mA)
10	3.59
20	4.04
30	4.61
40	5.07
50	5.58
60	5.92
70	6.18
80	6.5
90	6.6
100	6.65

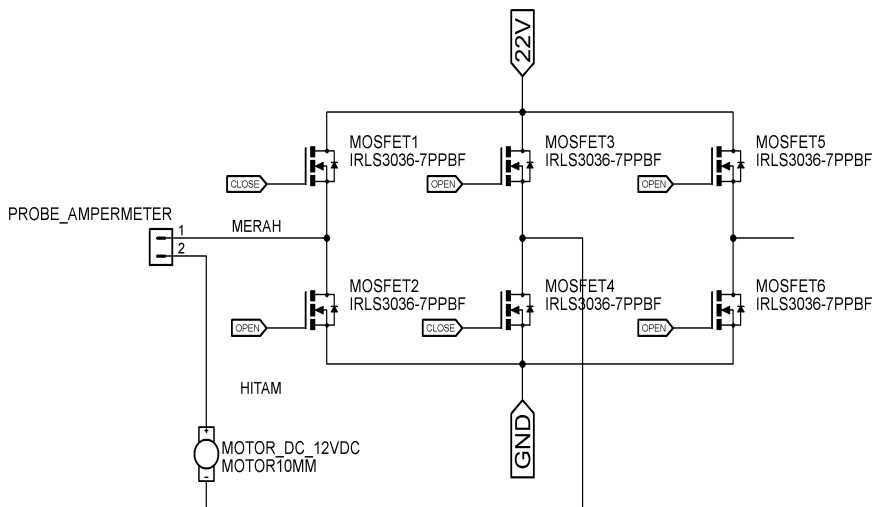


**Gambar 4.9** Grafik pengukuran Arus beban Led 3mm

Kesimpulan dari semua data diatas yaitu arus mulai tidak linier atau *stuck* saat nilai arus mencapai 6 mA. , tetapi arus naik berbanding lurus dengan presentase

#### 4.7 Pengukuran Arus Dengan Beban Motor DC 12V

Pengukuran Arus beban Motor DC 12V bertujuan mengetahui besaran arus yang mengalir pada beban Motor DC. Pengujian ini dilakukan menggunakan multimeter digital “SANWA”. Pengujian ini dilakukan menggunakan multimeter digital “SANWA”. Probe berwarna merah dihubungkan pada header 1 atau dihubungkan pada sambungan antara mosfet 1 dan mosfet 2 yang tepatnya antara fasa U high dan fasa U low. Probe berwarna hitam dihubungkan pada header 2 atau dihubungkan pada sambungan antara mosfet 3 dan mosfet 4 yang tepatnya antara fasa V high dan fasa V low, syarat dari pengukuran ini yaitu mengaktifkan mosfet 1 dan mosfet 4 atau *closed switch*. Mengnonaktifkan mosfet 2 dan mosfet 3 atau *open switch*. Serta mosfet 5 dan mosfet 6 dinonaktifkan yang artinya fasa W *floating*, seperti Gambar 4.10



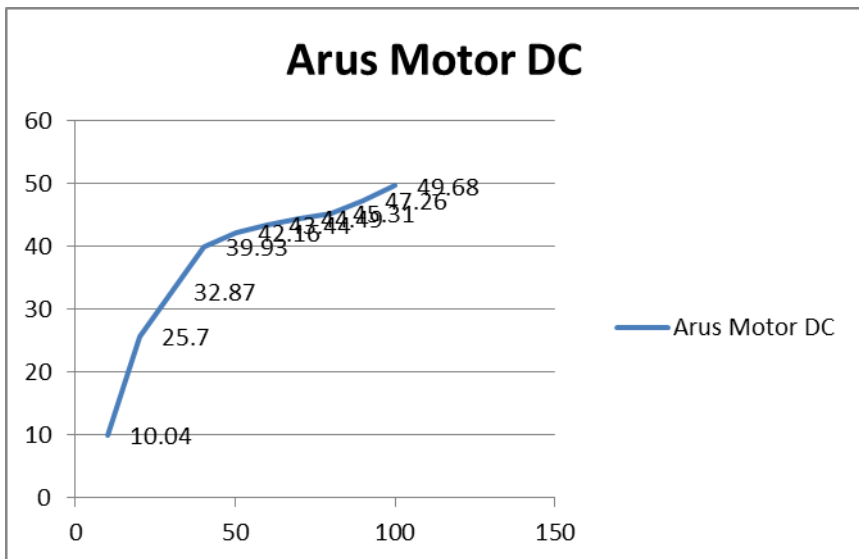
**Gambar 4.10** Rangkaian Pengukuran Arus dengan beban Motor DC 12V



Hasil pengujian dapat dilihat Pada Tabel 4.6 dan Gambar 4.11

**Tabel 4.6** Hasil pengukuran Arus Beban Motor DC 12V

No.	Presentase Potensiometer (%)	Arus beban Motor DC 12V (mA)
1.	10	10,04
2.	20	25,70
3.	30	32,87
4.	40	39,93
5.	50	42,16
6.	60	43,44
7.	70	44,49
8.	80	45,31
9.	90	47,26
10.	100	49,68



**Gambar 4.11** Grafik pengukuran Arus motor DC 12V

Kesimpulan dari semua data diatas yaitu arus mulai tidak linier atau *stuck* saat nilai arus mencapai 40 mA, tetapi arus naik berbanding lurus dengan presentase

#### 4.8 Pengujian Driver Motor Brushless pada 6 Buah Led

Pengujian Driver Motor Brushless ini bertujuan untuk mengetahui hasil output setiap step sesuai degan *six step comutation*. Pengujian ini dilakukan dengan beban 6 buah Led 3mm. Hasil dari terdapat pada Tabel 4.7

**Tabel 4.7 Hasil Pengujian Driver Motor Brushless pada 6 buah Led**

Step	U High Drive	U Low Drive	V High Drive	V Low Drive	W High Drive	W Low Drive
1.	ON	OFF	OFF	ON	OFF	OFF
2.	ON	OFF	OFF	OFF	OFF	ON
3.	OFF	OFF	ON	OFF	OFF	ON
4.	OFF	ON	ON	OFF	OFF	OFF
5.	OFF	ON	OFF	OFF	ON	OFF
6.	OFF	OFF	OFF	ON	ON	OFF

Pada gambar 4.11 merupakan sinyal logic dari keluaran driver motor BLDC. Terdapat 6 sinyal diantaranya 3 high dan 3 low yang urutannya sesuai dengan tabel 4.7 pengambilan data sinyal menggunakan *saleae logic analyzer 24MHz 8 Channel*



**Gambar 4.12** Sinyal dari *Six Step Comutation*

Kesimpulan dari dari pengujian driver motor brushless pada led menggunakan *saleae logic analyzer* 24MHz 8 Channel, *six step comutation* sudah sesuai dengan tabel 4.7. Pada fasa low terdapat sinyal putih yang artinya pwm tidak aktif atau dalam keadaan *open switch*. Sedangkan sinyal hitam pada fasa low merupakan pwm aktif atau *closed switch*. Pada fasa high terdapat 2 kondisi high dan low yang artinya high adalah kondisi dimana *closed switch* atau aktif dan low adalah kondisi dimana *open switch* atau tidak aktif.

Kendala yang dihadapi adalah kesalahan komutasi yang menyebabkan mosfet terbakar atau pun meledak yang contohnya UH dan UL aktif, kondisi ini tidak boleh terjadi dikarenakan akan menyebabkan *short circuit* yang dampaknya akan merusak komponen lainnya. Kendala kedua yaitu motor dapat berputar tetapi ketika berputar dalam jangka waktu yang lama motor tidak berputar hanya bergetar atau menggerang saja. Kesalahan ini terjadi akibat *missing* salah satu maupun salah dua komutasi tidak bisa terespon ataupun terbaca oleh stator, jika dibiarkan menggerang motor brushless akan panas dan terbakar dampak lainnya yaitu mosfet juga ikut terbakar ataupun meledak.

Solusi agar tidak terjadi *missing* komutasi dan *fault* komutasi yaitu dengan memberi sensor posisi atau biasa disebut dengan hall sensor. Permasalahannya *hall* sensor hanya ada pada motor bldc *sensored* untuk membuat *hall* sensor pada motor bldc *sensorless* perlu meletakan pada stator motor dan perlu merubah konstruksi motor sehingga hamper tidak mungkin untuk menggunakan *hall* sensor. Pengganti hall sensor dapat Untuk mengatasi kelemahan penggunaan sensor posisi ini dapat menggunakan deteksi tegangan *back EMF*, yaitu memanfaatkan tegangan balik rotor saat berputar. Tegangan *back EMF* pada motor BLDC berupa gelombang trapezoidal. Gelombang trapezoidal yang dibangkitkan ini yang nantinya diolah dan digunakan sebagai *komutasi* pada driver motor bldc. Rangkaian pendeteksi *backEMF* menggunakan rangkian *backEMF zero crossing*. gangan *back EMF* yang timbul dari fasa *floating* merupakan indikasi dari posisi rotor dan dimungkinkan dapat digunakan untuk menentukan komutasi. Pendeteksian sinyal *back EMF* ini memerlukan tegangan netral sebagai referensi menentukan titik *zero* dari sinyal untuk menghasilkan sinyal digital. Karena titik netral pada motor BLDC sulit dijangkau, maka bisa diperoleh dengan membuat *virtual neutral point* dengan

menyatukan ketiga fasa motor. Untuk membentuk sinyal digital sebagai hasil deteksi *back EMF zero crossing* diperlukan komparator untuk setiap tegangan fasa motor. Komparator di setiap fasa motor ini memberikan sinyal digital sesuai dengan adanya tegangan *back EMF* setiap motor. Luaran sinyal yang telah melalui beberapa rangkaian tadi inilah yang nantinya digunakan sebagaikomutasi driver motor bldc yang akan diolah oleh mikrokontroller layaknya sensor *hall effect*.

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Setelah melakukan tahap perancangan dan implementasi sistem kemudian dilanjutkan dengan tahap pengujian maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Pembacaan Tegangan pada Potensiomeer memiliki grafik yang tidak linier terdapat pada adc terukur 1,21V; 2,62V; 3,07V; 3,92V.
2. Tegangan output PWM memiliki grafik yang tidak linier terdapat pada PWM terukur 1,21V; 2,62V; 3,07V; 3,92V.
3. Pengujian komutasi *driver motor* BLDC yang diberikan pada beban led 3mm sesuai dengan tabel kebenaran.
4. *Mosfet* meledak dikarenakan kesalahan komutasi dan *packaging Mosfet* kurang baik sehingga menyebabkan *short circuit*.
5. *Mosfet* meledak dikarenakan tidak mampu dialiri oleh arus sebesar 90A.
6. Optocoupler rusak dikarenakan dampak meledaknya mosfet.

#### **5.2 Saran**

Beberapa saran yang dapat dilaksanakan untuk tahapselanjutnya antara lain:

1. Perlu menggunakan *feedback* dengan metode *zero cross detecting* untuk menjalankan *starting* dan menjalankan posisi komutasi motor agar tidak terjadi *missing* pembacaan komutasi.
2. Menggunakan BLDC sensored
3. Menggunakan mosfet yang parallel untuk menambah arus pada mosfet

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----



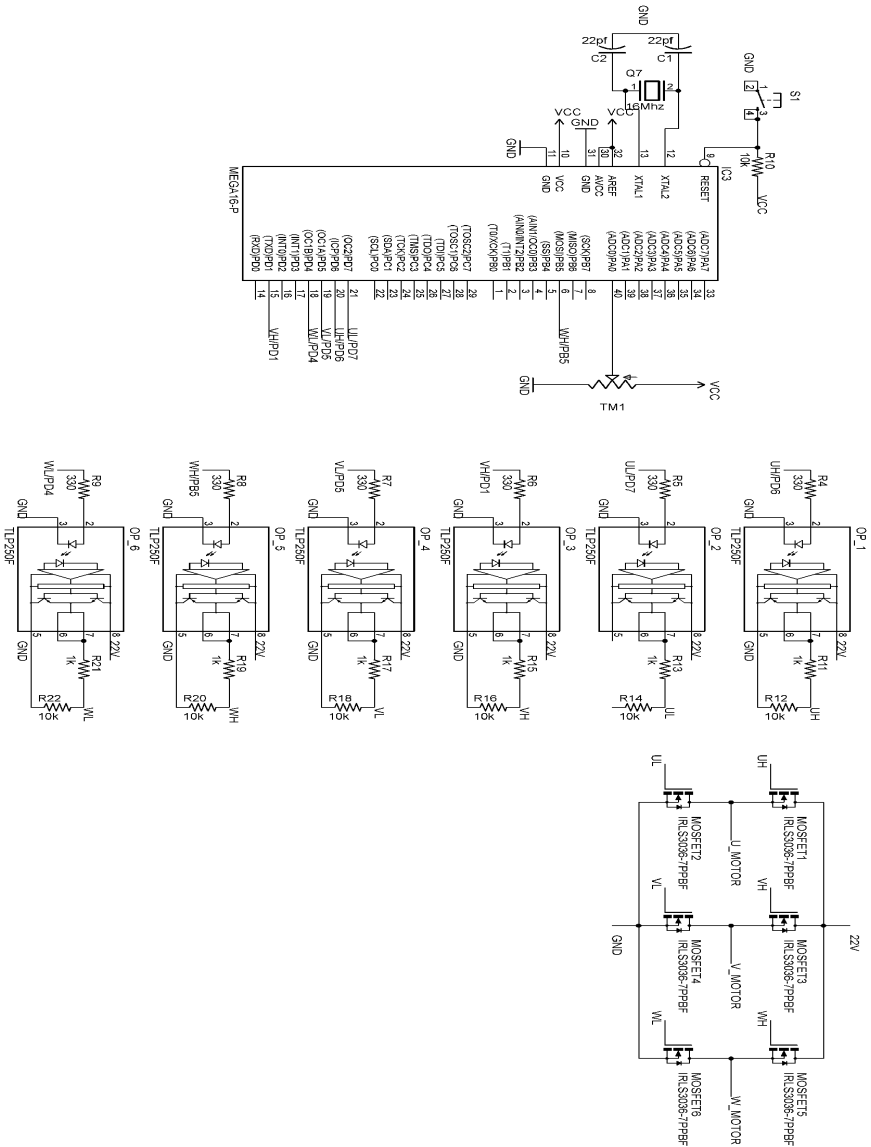
## DAFTAR PUSTAKA

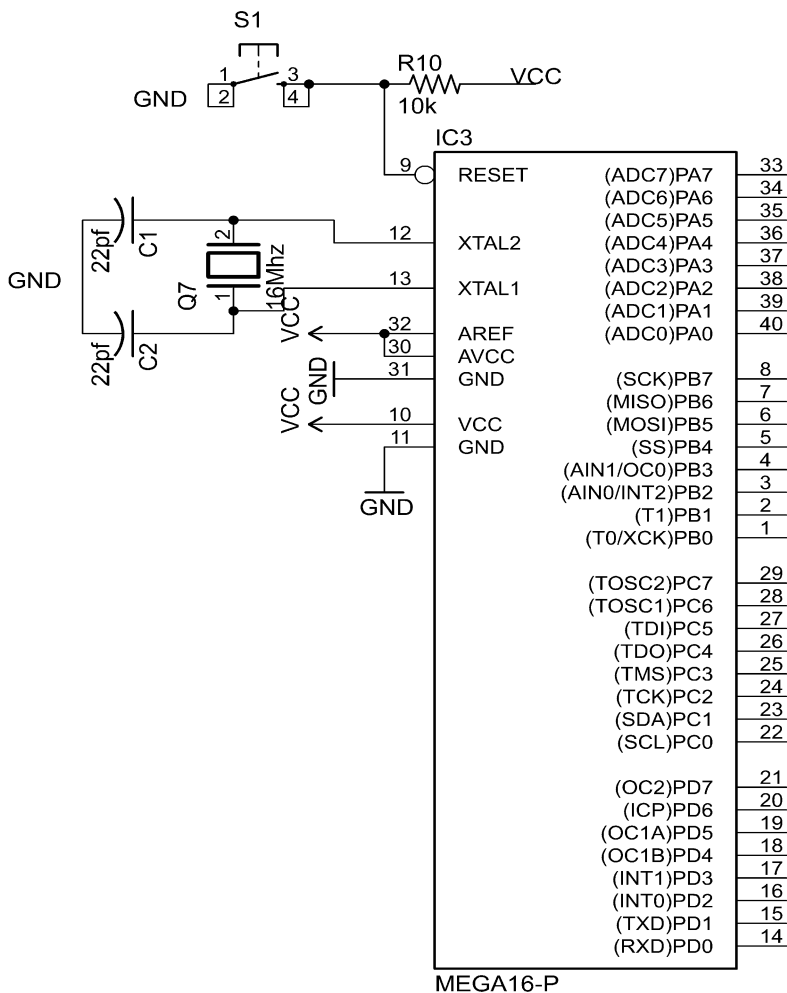
- [1] Winoto,Ardi. Mikrokontroler AVR ATmega8/16/32/8535 dan pemogramannya dengan Bahasa C pada WinAVR. Bandung: Informatika.2010.
- [2] Benjamin. 2015. Open Source ESC. Diambil dari: <http://vedder.se/2015/01/vesc-open-source-esc/> (19 Juni 2018)
- [3] Keeping, Steven. 2013. An Introduction to Brushless DC Motor Control. Diambil dari: [ttps://www.digikey.com/en/articles/techzone/2013/mar/an-introduction-to-brushless-dc-motor-control](https://www.digikey.com/en/articles/techzone/2013/mar/an-introduction-to-brushless-dc-motor-control) (19 Juni 2018)
- [4] Tahmid. 2013. Using the TLP250 for isolated Gate. Diambil dari: <http://tahmidmc.blogspot.co.id/2013/05/using-tlp250-for-isolated-mosfet-gate.html> (19 Februari 2018)
- [5] Project, Simple. 2018 Sensorless BLDC motor control with Arduino – DIY ESC diambil dari: [https://simple\\_circuit.com/arduino-sensorless-bldc-motor-controller-esc/](https://simple_circuit.com/arduino-sensorless-bldc-motor-controller-esc/) (19 Juni 2018)
- [6] Kepping, Steven. 2013. Controlling Sensorless, BLDC Motors via Back EMF diambil dari: <https://www.digikey.com/en/articles/techzone/2013/jun/controlling-sensorless-bldc-motors-via-back-emf> (19 Juni 2018)
- [7] oneexperience. 2017. Diambil dari: <https://onexperience.wordpress.com/2016/09/04/first-blog-post/> (19 Juni 2018)
- [8] Angga. 2018. Diambil dari: <http://buaya-instrument.com/blog-buaya-instrument/hal-yang-wajib-anda-ketahui-mengenai-charger-baterai-lipo> (19 Juni 2018)

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

# LAMPIRAN A

## A.1 Skemtaik Alat





## RIWAYAT HIDUP PENULIS



Nama : Mohammad Desna  
Rizal Cahyanto  
TTL : Kediri, 10 Desember  
1996  
Jenis Kelamin : Laki-Laki  
Agama : Islam  
Alamat Rumah : Jl. Flamboyan No.56  
Tulongrejo Pare  
Kediri  
Telp/HP : 082216582295  
E-mail : mdesnarizal@gmail.com  
Hobi : Gaming

### RIWAYAT PENDIDIKAN

- 2002 - 2008 : SDN Pare 2
- 2008 - 2011 : SMPN 2 Pare
- 2011 - 2014 : SMAN 2 Pare
- 2015 - 2018 : Departemen Teknik Lektro Otomasi, program Studi Teknik Elektro Industri, Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember

### PENGALAMAN KERJA

- Kerja Praktek di CV. Bersama Jaya Teknik (2016)
- Kerja Praktek di PT Semen Indonesia (Persero) Tbk (2017)

### PENGALAMAN ORGANISASI

- Staff Kontroler di Pusat Riset Mobil Listrik ITS (2016-2017)

### PENGALAMAN KEPANITIAAN

- Panitia PLC Industrial Automation and Robotic Competition (2015-2016)
- Panitia Konsumsi Industrial Automation and Robotic Competition (2016-2017)

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----